

0718222-1

На правах рукописи

Ильин Алексей Павлович

РАСТВОРИМОСТЬ И КОЭФФИЦИЕНТ ФАЗОВОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ
ПРОМЫШЛЕННОЙ СТОЧНОЙ ВОДЫ В СИСТЕМЕ
ЖИДКОСТЬ – СВЕРХКРИТИЧЕСКИЙ ФЛЮИД

05.14.05 - теоретические основы теплотехники

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2000

Работа выполнена на кафедре теоретических основ теплотехники
Казанского государственного технологического университета.

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Гумеров Ф.М.,
кандидат технических наук, доцент
Сабирзянов А.Н.
Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Теляков Э. Ш.,
кандидат технических наук, доцент
Дресвянников Ф. Н.
Ведущая организация: ВНИИУС, г.Казань.

Защита состоится 15 декабря 2000 г. в 14 часов на заседании
диссертационного совета Д 063.37.02 в Казанском государственном
технологическом университете по адресу: 420015, г. Казань, ул. К.
Маркса, 68 (зал заседаний ученого совета), А - 330.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского
государственного технологического университета.

Автореферат разослан «13» ноября 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор



А.Г. Лаптев

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
КФУ



0000947920

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

ПРОБЕЖ
2008 г.Актуальность работы.

Традиционные методы очистки сточных вод, содержащих более 1,0 % органических соединений, включают в себя, как правило, процессы дистилляции, сжигания и жидкостного экстрагирования. Дистилляция, особенно в случае разбавленных водных растворов, отличается энергоемкостью. Повышенная энергоемкость сжигания дополняется в большинстве случаев неполнотой сгорания и токсичностью продуктов сгорания. Жидкостное экстрагирование применимо, но его использование ограничивается из-за остающихся в обработанной воде растворов.

В технологически развитых странах в настоящее время для этих целей интенсивно изучается и используется принципиально новый метод - сверхкритической флюидной экстракции (СФЭ), являющийся энергосберегающим, экологически безопасным и позволяющим достигать высоких степеней очистки исходного сырья.

Очевидно, что разработка теоретических основ процесса очистки высоконагруженной углеводородами сточной воды методом СФЭ является задачей важной и актуальной.

Работа выполнялась в соответствии с координационным планом НИР РАН по комплексной проблеме «Теплофизика и теплоэнергетика» 1996 - 2000 гг. (п. 1.9.1.1.2.1.) и в рамках государственного заказа правительства РТ «Химия и нефтехимия» Ц-20-97 «Выявление принципиальной возможности очистки высоконагруженных по органике сточных вод методом сверхкритической экстракции»

Цель работы.

1. Выявление принципиальной возможности очистки высоконагруженной углеводородами сточной воды методом СФЭ.
2. Создание циркуляционной экспериментальной установки для реализации процессов СФЭ.
3. Экспериментальное исследование растворимости воды в сверхкритическом (СК) CO_2 .
4. Экспериментальное исследование коэффициента фазового распределения (КФР) углеводородных загрязнителей в системах вода-углеводород - СК CO_2 .
5. Описание КФР углеводородных загрязнителей в системах вода- углеводород - СК CO_2 .
6. Экспериментальное исследование взаимного влияния углеводородных загрязнителей на их извлекаемость из сточной воды методом СФЭ с использованием в качестве экстрагента СК CO_2 .

7. Очистка высоконагруженной углеводородами сточной воды завода СПС АО «НКНХ» (г. Нижнекамск) методом СФЭ.

Научная новизна.

- Создана циркуляционная экспериментальная установка, позволяющая реализовывать процесс СФЭ в диапазоне давлений до 35 МПа и температур 293÷473 К.
- Получены новые экспериментальные данные по растворимости воды в СК CO_2 и КФР углеводородных загрязнителей в системах вода-углеводород - СК CO_2 .
- Получены новые экспериментальные данные по взаимному влиянию углеводородных загрязнителей сточной воды на их извлекаемость сверхкритическим CO_2 .
- Проведено описание растворимости и КФР компонентов сточной воды в широкой окрестности критической точки диоксида углерода.
- Реализован процесс очистки высоконагруженной углеводородами сточной воды методом СФЭ.

Практическая значимость.

Экспериментально реализован процесс очистки высоконагруженной углеводородами сточной воды методом СФЭ.

Сформулированы технологические рекомендации, принятые к внедрению на заводе СПС АО «Нижнекамскнефтехим» (г. Нижнекамск).

Апробация работы и научные публикации.

По теме диссертации опубликовано 9 работ.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на XII Международной конференции молодых ученых и студентов по химии и химической технологии. РХТУ им. Д.И. Менделеева. Москва. 1998; на V Международной научной конференции КХТП-V-99, г. Казань, 1999; на ежегодных отчетных научно-технических конференциях в КГТУ (1997 - 2000).

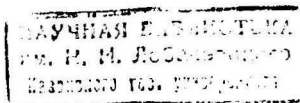
Объем работы:

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения.

Диссертация содержит 115 страниц, в том числе 74 страниц машинописного текста, 1 таблиц, 30 рисунков, список литературы и приложение.

Основное содержание работы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования и определена цель работы.



В первой главе приведен обзор экспериментальных и теоретических работ, посвященных исследованию процесса СФЭ. С целью определения принципиальной возможности очистки сточной воды методом СФЭ была вычислена растворимость компонентов сточной воды в СК CO_2 вблизи критической температуры растворителя в приближении Соавы с использованием эмпирических параметров межмолекулярного взаимодействия:

$$\ln y = \ln(P_v / P) - \ln \phi_2 + PV_m / RT, \quad (1)$$

где y - растворимость вещества в мольных долях, P_v - давление насыщенных паров растворяемого вещества при данной температуре, P - давление в системе, ϕ_2 - коэффициент летучести растворяемого вещества во флюиде, V_m - приведенный мольный объем чистого растворяемого вещества, R - универсальная газовая постоянная, T - температура системы.

Уравнение (1) получено из условия равенства химических потенциалов растворяемого вещества в конденсированной и флюидной фазах. При этом предполагается, что растворяемое вещество в конденсированной фазе является чистым, а раствор во флюидной фазе разбавленным. Последний член в правой части уравнения (1) учитывает влияние давления на химический потенциал конденсированной фазы.

Давление насыщенных паров компонентов сточной воды рассчитано по уравнению Антуана.

Коэффициенты летучести растворяемых веществ ϕ_2 были рассчитаны по уравнению состояния Соавы согласно соотношению:

$$\ln \phi = (Z - B)B / B - \ln(Z - B) + \ln(1 + B/Z) \left[B / B - 2 \sum y_i a_{ij} / a \right] A / B, \quad (2)$$

где $Z = Pv/RT$, $A = aP/R^2T^2$, $B = bP/RT$, v - удельный объем. Параметры уравнения Соавы рассчитываются следующим образом:

$$b = \sum \sum y_i y_j b_{ij}, \quad a = \sum \sum y_i y_j a_{ij}, \quad (3)$$

$$b_{ii} = 0,086664 RT_{кри} / P_{кри}, \quad (4)$$

$$b_{ij} = \sqrt{b_{ii} b_{jj}}, \quad (5)$$

$$a_{ii} = \alpha_i(T) \cdot 0,42748 RT_{кри}^2 / P_{кри}, \quad (6)$$

$$\alpha_i(T) = \left[1 + m_i \left(1 - \sqrt{\frac{T}{T_{кри}}} \right) \right]^2, \quad (7)$$

$$m_i = 0,480 + 1,574\omega_i - 0,176\omega_i^2, \quad (8)$$

$$a_{ij} = (1 - k_{ij}) \cdot \sqrt{a_{ii} a_{jj}}, \quad (9)$$

где y_i и y_j - молярные доли компонентов бинарной системы в любой из сосуществующих фаз, $T_{кр}$ - критическая температура компонента, $P_{кр}$ - критическое давление компонента, ω_i - фактор ацентричности компонента, k_{ij} - параметр бинарного межмолекулярного взаимодействия.

Индивидуальные параметры веществ, входящие в уравнения (1), (4), (6)-(8), представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Индивидуальные параметры веществ.

Вещество	$T_{кр}$, К	$P_{кр}$, МПа	ω	$V_m \times 10^3$, $м^3 \cdot кмоль^{-1}$
CO ₂	304,2	7,382	0,225	-
Вода	647,3	22,03	0,344	18,092
Фенол	694,2	6,05	0,44	88,98
Стирол	647	3,94	0,257	114,96
Этилбензол	617,1	3,56	0,301	122,399
Ацетофенон	714	40,6	0,3694	116,87

Параметр k_{ij} определяется путем минимизации отклонений экспериментальных значений бинарной растворимости от рассчитанных по модели (1)

$$F = \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{(y^{расч} - y^{эксп})^2}{N}}, \quad (10)$$

где F - функция ошибок, N - количество экспериментальных точек.

Для определения эмпирических параметров k_{ij} по уравнениям (1) - (10) были использованы литературные экспериментальные данные, полученные для бинарных систем CO₂ - вода, CO₂ - фенол, CO₂ -стирол, CO₂ - этилбензол CO₂ -ацетофенон. Результаты, представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Параметры бинарного взаимодействия.

Параметр	Вода - CO ₂	Фенол - CO ₂	Стирол - CO ₂	Этилбен- зол - CO ₂	Ацетофенон - CO ₂
T, K	308	309	308	308	313
k_{ij}	0,1468	0,1405	0,2154	0,25487	0,05534

Полученные параметры k_{ij} позволили вычислить растворимость компонентов сточной воды в СК CO_2 вблизи критической температуры растворителя в диапазоне давлений от 2 до 30 МПа. Этот диапазон параметров состояния, который охватывает область резких изменений БР веществ в сверхкритических флюидах, является оптимальным для проведения процесса СФЭ. Результаты расчета бинарной растворимости представлены на рис. 1.

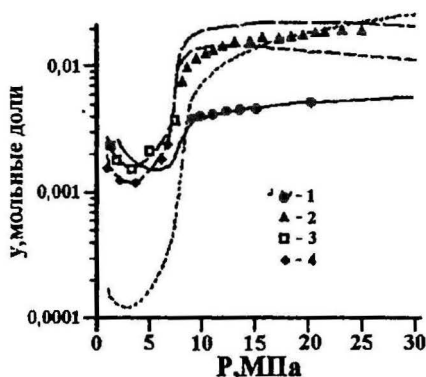


Рис.1 Описание растворимости компонентов сточной воды в СК CO_2 в приближении Соава. 1 - вода, 2 - фенол, 3 - этилбензол, 4 - стирол, линии - расчет.

Представляется очевидной возможность очистки сточной воды методом СФЭ с использованием в качестве экстрагента СК CO_2 .

В первой главе также представлен алгоритм описания поведения КФР углеводородных загрязнителей между жидким и сверхкритическим растворителями. Для описания КФР применен алгоритм расчета точки начала испарения при постоянных значениях температуры и давления. Описание процесса испарения основано на использовании материального баланса и условия термодинамического равновесия системы по любому компоненту:

$$Fz_i = Lx_i + Vy_i, \quad (11)$$

$$y_i = K_i x_i \quad (12)$$

где F, L, V — это количество молей соответственно во всей системе, жидкой и паровой фазах; z_i, x_i, y_i — это мольные доли i -го компонента соответственно во всей системе, жидкой и паровой фазах; K_i — это коэффициент фазового распределения i -го компонента между жидкой и паровой фазами.

Совместное рассмотрение уравнений (11) и (12) и введение коэффициента испарения $\beta = V/F$ определяет условие испарения:

$$f(\beta) = -1 + \sum K_i x_i = -1 + \sum \frac{z_i}{1 + \beta(K_i - 1)} = 0 \quad (13)$$

Для улучшения сходимости при итерациях принимается следующая целевая функция:

$$f(\beta) = \sum y_i - \sum x_i = \sum \frac{(K_i - 1)z_i}{1 + \beta(K_i - 1)} = 0 \quad (14)$$

Для вычисления коэффициента испарения с заданной точностью используется итерационный алгоритм Ньютона-Рафсона

$$\beta = \beta + \frac{\sum \frac{(K_i - 1)z_i}{1 + \beta(K_i - 1)}}{\sum \left[\frac{K_i - 1}{1 + \beta(K_i - 1)} \right]^2 z_i} \quad (15)$$

Полученное значение коэффициента испарения позволяет определять состав равновесных фаз:

$$x_i = \frac{z_i}{1 + \beta(K_i - 1)} \quad (16)$$

$$y_i = K_i x_i \quad (17)$$

Величина КФР K_i может быть выражена через отношение парциальных коэффициентов летучести компонентов в равновесных фазах ϕ_i^L и ϕ_i^V :

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{\phi_i^L}{\phi_i^V} \quad (18)$$

Для расчетов парциальных коэффициентов летучести углеводородных загрязнителей в жидкой фазе и фазе сверхкритического флюида используется кубическое уравнение состояния Соава (уравнения (7) - (14)).

Для расчета "перекрестных" параметров смеси вводятся эмпирические поправки, называемые параметрами бинарного межмолекулярного взаимодействия k_{ij} и η_{ij} , которые проявляют сильную зависимость от температуры:

$$a_{ij} = (1 - k_{ij})\sqrt{a_{ii}a_{jj}} \quad , \quad b_{ij} = (1 - \eta_{ij})\sqrt{b_{ii}b_{jj}} \quad (19)$$

Результаты моделирования КФР на базе экспериментальных данных, полученных в настоящей работе, приведены в главе 3.

Во второй главе обоснован выбор экспериментального метода исследования поведения растворимости и КФР в системах жидкость - сверхкритический флюид. Приводится описание экспериментальной установки с рециркуляцией флюида через разделяемую смесь (рис. 3), позволяющей осуществлять процесс флюидной экстракции в диапазоне давлений до 35 МПа и температур 293÷473 К.

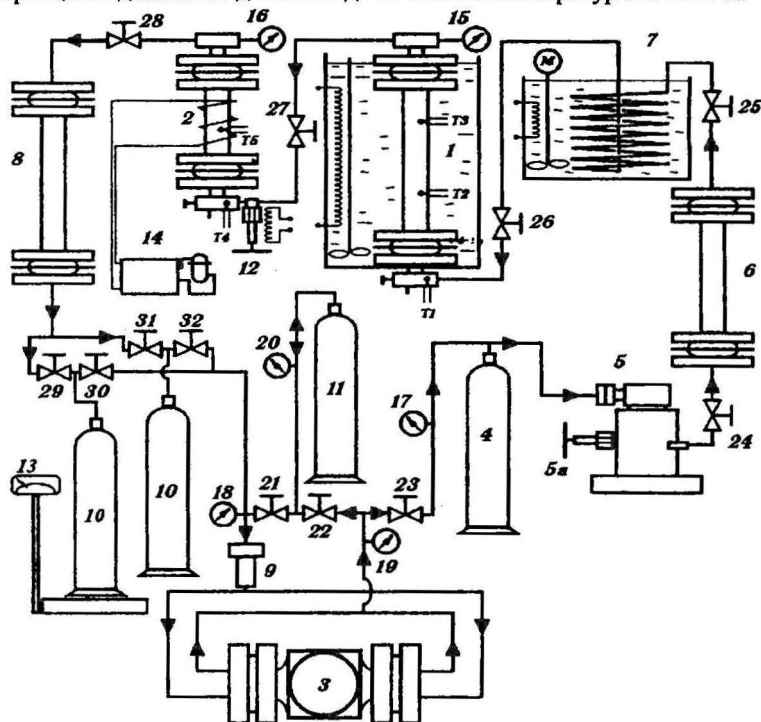


Рис. 2. Схема проточной экспериментальной установки

1 - экстрактор; 2 - сепаратор; 3 - мембранный компрессор; 4 - ресиверный баллон; 5 - редуктор; 6 - фильтр-осушитель; 7 - нагреватель; 8 - осушитель; 9 - фильтр тонкой очистки; 10 - приемные баллоны; 11 - промежуточные баллоны; 12 - дроссельный вентиль; 13 - весы; 14 - холодильник; 15 - манометры; 16 - 20 - манометры; 21 - 32 - вентили; T1 - T5 - термопары.

Установка разработана на базе промышленного компрессора (3). Для обеспечения требуемого расхода экстрагента и устранения пульсаций, вызванных работой компрессора, газ закачивается в ресивер (4). Рабочее давление экстрагента устанавливается с точно-

стью $\pm 0,1$ МПа при помощи регулятора давления (5). Давление в экстракторе и сепараторе измеряется образцовыми манометрами (15) и (16). До подачи в экстрактор флюид проходит предварительную подготовку в фильтре-осушителе (6) и теплообменнике (7), в котором достигает рабочей температуры $T > T_{кр}$. Далее флюид поступает в экстрактор (1) объемом 175 см^3 , в котором барботирует через обрабатываемую смесь. Рабочая температура процесса поддерживается термостатируемой ванной, в которую погружен корпус экстрактора. Точность поддержания температуры процесса находится в пределах $\pm 0,05 \text{ К}$. Температура флюида в экстракторе и газа в сепараторе измерялась хромель-алюмелевыми термопарами, введенными непосредственно в измеряемую среду через корпуса аппаратов с использованием специальных уплотнительных устройств. Точность измерения температуры оценивается в пределах $\pm 0,1 \text{ К}$. Для интенсификации массообмена в экстракторе предусмотрена нерегулярная насадка из нержавеющей колец. Для предотвращения механического уноса жидкости потоком экстрагента, в верхней части экстрактора размещён жалюзийный инерционный каплеуловитель.

В сепараторе (2) происходит выделение растворенных во флюиде компонентов. Этот процесс осуществляется за счет понижения давления экстрагента, до значений близких к атмосферному ($0,5 - 1,0$ МПа). С этой целью раствор проходит через специально разработанный дроссельный вентиль (12), находящийся на входе в сепаратор. Корпус самого сепаратора термостатируется с помощью теплоносителя поступающего из термостата (14). Для более глубокой сепарации экстрагента от извлеченной из исходной смеси компоненты в сепараторе применяется улавливающий растворитель.

Освобожденный от экстракта диоксид углерода через фильтр-осушитель (8) поступает в приемный баллон (10). Откуда перекачивается компрессором, через промежуточный баллон в ресивер.

Достаточное количество сжатого экстрагента в ресивере позволяет непрерывно поддерживать требуемый расход. Величина расхода экстрагента регулировалась вентилем (12) в пределах $0,3-0,4 \text{ кг/ч}$. При необходимости, подкачка экстрагента в ресивер может быть осуществлена без вмешательства в процесс, что позволяет вести его сколь угодно долго. Однако время экстракции определяется требуемым соотношением массы экстрагента к массе исходной смеси. Для моделирования многокомпонентных систем были использованы жидкий диоксид углерода чистоты $99,8 \text{ \% масс}$, отвечающий требованиям ГОСТ 8050-85, дистиллированная вода, фенол ЧДА, отвечающий техническим условиям ТУ 6-09-40-3245-88, стирол чистотой 99 \% масс (высушен над MgSO_4 и перегнан при температуре

$T=311-313$ К в вакууме при остаточном давлении 4 мм рт.ст.), пропиленгликоль ХЧ.

Количество сверхкритического CO_2 , прошедшего через экстракционную ячейку, определяется весовым методом. Для этого приемный баллон установлен на электронные весы марки ВМ-150, с помощью которых определяется масса баллона до и после опыта с точностью $\pm 0,025$ кг. Количество исходного разбавленного раствора с примесью и рафинада, полученного после процесса экстракции, определяется взвешиванием на электронных аналитических весах фирмы CAS с погрешностью $\pm 10^{-5}$ кг. Анализ концентрации фенола и стирола проводился методом жидкостной хроматографии на приборе ЛХМ-8MD с пламенно-ионизационным детектором с погрешностью $\pm 10^{-4}$ моль/л. Концентрация пропиленгликоля в воде определялась методом ЯМР на спектрометре высокого разрешения с фурье-преобразователем ТЕСЛА-567А резонансной частотой протонов 100 МГц с погрешностью $\pm 0,2$ % масс. Количество извлеченной экстрагентом из исходного разбавленного раствора примеси определяется из уравнения материального баланса. Зная количество прошедшего через экстрактор экстрагента можно определить концентрацию примеси во флюидной фазе. Отношение мольной доли примеси во флюидной фазе к ее мольной доле в рафинаде определяет величину КФР. Максимальные значения погрешности полученных опытных данных оцениваются авторами для растворимости в 7,2 %, а для КФР в 14,2 %. В настоящей работе проведены пробные измерения по растворимости воды в СК CO_2 на изотерме 313 К. Наблюдается согласие с литературными данными, также полученными на проточной установке, в пределах суммарной погрешности.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований по растворимости воды в СК CO_2 (рис.4).

Параметры бинарного взаимодействия для системы вода – СК CO_2 , полученные для расчета коэффициента летучести, представлены в таблице 3.

Таблица 3.
Параметры бинарного взаимодействия для системы вода – СК CO_2 .

Параметры	Температура, К	
	313	323
k_{ij}	0.259166	$-3.38134 \cdot 10^{-3}$
η_{ij}	0.1993316	-0.395025

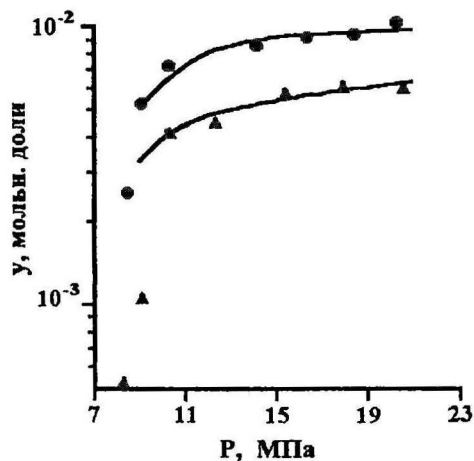


Рис.4. Растворимость воды в СК CO_2 . 1- $T=313$ К, 2- $T=323$ К, линии – расчет.

Экспериментально обнаружено, что КФР пропиленгликоля и стирола в системе вода – углеводород - СК CO_2 на изотермах 313 К и 323 К в диапазоне давлений от 9,5 МПа до 20 МПа в рамках погрешностей измерений принимают значения, равные нулю. Для системы вода – фенол – CO_2 экспериментальные данные по КФР фенола представлены на рис.5.

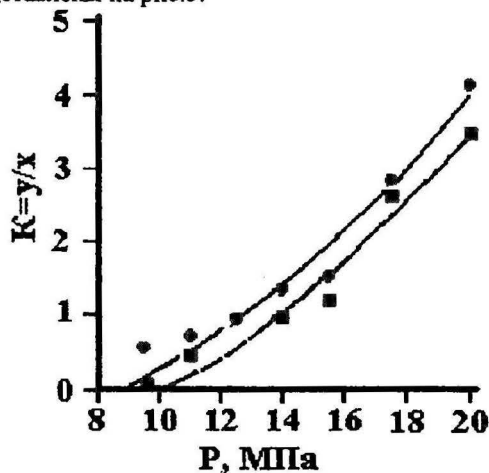


Рис.5 Коэффициент распределения фенола в системе вода – фенол СК CO_2 . 1- $T=313$ К, 2- $T=323$ К, линии – расчет.

Получены эмпирические параметры бинарного взаимодействия вода – фенол, вода – CO_2 , фенол – CO_2 (табл.4), которые отличаются от соответствующих параметров для бинарных систем, так как учитывают присутствие третьего компонента.

Таблица.4

Параметры парных взаимодействий компонентов в системе
вода (1) - СК CO_2 (2) - фенол (3)

Параметры Взаимодействия	Температура, К	
	313	323
k_{12}	0,5122	0,6928
k_{32}	-0,8383	-2,3824
k_{13}	-0,2695	-0,6216

Приведены экспериментальные результаты по влиянию углеводородных примесей (пропиленгликоля и стирола) на поведение КФР фенола в системе вода – (фенол – дополнительные примесь) - СК CO_2 (рис.6,7).

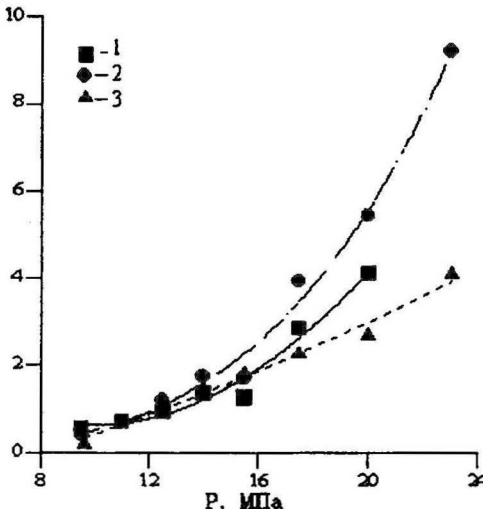


Рис.6 Влияние дополнительных примесей на величину КФР фенола в системе вода – (фенол – примесь) - СК CO_2 при температуре $T=313$ К. 1 - без примесей; 2 - с пропиленгликолем; 3 - с пропиленгликолем и стиролом.

Очевидно, что добавление пропиленгликоля увеличивает величину КФР фенола. Это можно объяснить хорошей взаимной растворимостью фенола и пропиленгликоля, а также близкими значениями их полярности. Дальнейшее добавление стирола снижает величину КФР фенола до значений, ниже тех, которые получены для

системы вода – фенол – CO_2 .

Приведены результаты очистки сточной воды завода СПС АО «Нижнекамскнефтехим» (г. Нижнекамск) на проточной установке при температуре 323 К и различных давлениях (табл.5).

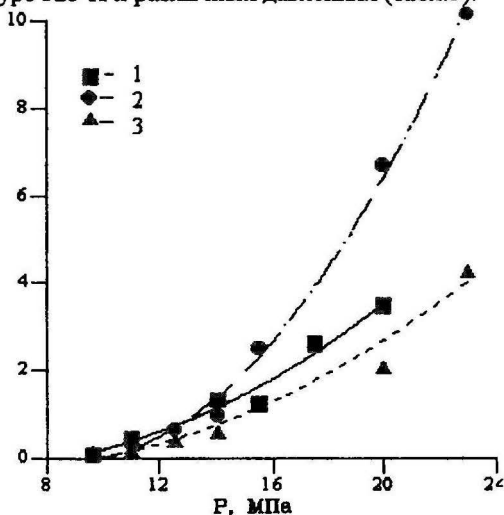


Рис.7 Влияние дополнительных примесей на величину КФР фенола в системе вода – (фенол – примесь) - СК CO_2 при температуре $T=323$ К: 1 - без примесей; 2 - с пропиленгликолем; 3 - с пропиленгликолем и стиролом

Таблица 5

Результаты очистки сточной воды завода СПС АО «Нижнекамскнефтехим» (г. Нижнекамск) методом СФЭ.

Р, МПа	Масса CO_2 /масса воды	Ацетон	Х	Изопропил-бензол	Пропиленгликоль	Ацетофенон	ДМФК	Фенол
Исходный раствор		0.13	0.045	0.019	2.29	0.0068	0.7	0.19
8	35	0.035	0.0023	0.004	1.31	0	0	0.048
9	35	0.042	0.0003	0	2.23	0	0.024	0
10	35	0.052	0	0	3.81	0	0	0

Полученный результат с остаточным пропиленгликолем соответствует требованиям по предварительной очистке высоконагру-

женных углеводородами сточных вод, подаваемых далее на биологическую очистку.

Основные результаты и выводы.

1. Выявлена принципиальная возможность очистки высоконагруженной углеводородами сточной воды методом СФЭ.

2. Создана экспериментальная установка с непрерывной рециркуляцией флюида через разделяемую смесь, которая позволяет проводить процесс флюидной экстракции в диапазоне давлений до 35 МПа и температур 293÷ 473 К.

3. Полученные новые экспериментальные данные по растворимости воды в СК CO_2 .

4. Получены новые экспериментальные данные по КФР углеводородных загрязнителей в системе вода - углеводород - СК CO_2 в широкой окрестности критической точки CO_2 .

5. Экспериментальные данные по растворимости и КФР описаны во всем исследованном интервале параметров состояния.

6. Получены новые экспериментальные данные по влиянию дополнительных примесей (стирола и пропиленгликоля) на поведение КФР фенола в системах вода – (фенол - пропиленгликоль)- СК CO_2 , вода – (фенол – пропиленгликоль - стирол)- СК CO_2 .

7. Реализован процесс очистки высоконагруженной углеводородами сточной воды методом сверхкритической экстракции.

Основные положения диссертации опубликованы в работах.

1. Ильин А.П., Ахунов А.Р., Сабирзянов А.Н., Максудов Р.Н., Аляев В.А., Гумеров Ф.М. Циркуляционная экспериментальная установка для исследования растворимости жидкостей в сверхкритических флюидах. Вестник Казанского технологического университета. 1999. № 1-2. С. 75-78.
2. Ильин А.П., Ахунов А.Р., Максудов Р.Н., Сабирзянов А.Н., Мингалеев Н.З. Модернизированная экстракционная установка с непрерывной рециркуляцией флюида-растворителя.// Тез. докл. научной сессии Казанского государственного технологического университета./ КГТУ. Казань. 1999. С. 70.
3. Ильин А.П., Максудов Р.Н., Сабирзянов А.Н., Гумеров Ф.М. Экспериментальный стенд для переработки полимеров методом сверхкритической экстракции.// XII Международная конференция молодых ученых и студентов по химии и химической технологии. Тез. докл./ РХТУ им. Д.И. Менделеева. Москва. 1998. Ч. 2. С. 58.
4. Максудов Р.Н., Габитов Ф.Р., Ильин А.П., Ахунов А.Р., Новиков А.Е. Экспериментальные методы реализации процессов с исполь-

- зованием сверхкритических флюидов.// V Международная научная конференция КХТП-V-99. Тез. докл./ КГТУ. Казань. 1999. С. 212.
5. Максудов Р.Н., Ильин А.П., Ахунов А.Р., Сабирзянов А.Н., Гумеров Ф.М.. Экспериментальная реализация процесса сверхкритического экстрагирования в системе жидкость-сверхкритический флюид.// Тезисы научной сессии./ КГТУ. Казань. 1997. С. 62.
 6. Ильин А.П., Сабирзянов А.Н., Максудов Р.Н., Гумеров Ф.М. Извлечение органических загрязнителей из сточной воды методом сверхкритической экстракции.// V Международная научная конференция КХТП-V-99. Тез. докл./ КГТУ. Казань. 1999. С. 207.
 7. Ильин А.П., Максудов Р.Н., Сабирзянов А.Н., Гумеров Ф.М. Извлечение органических загрязнителей из разбавленных водных растворов методом сверхкритической экстракции.// Тез. докл. научной сессии Казанского государственного технологического университета./ КГТУ. Казань. 1999. С. 70.
 8. Ильин А.П., Ахунов А.Р., Сабирзянов А.Н., Гумеров Ф.М. Бинарная растворимость воды в сверхкритическом диоксиде углерода.// Тезисы научной сессии./ КГТУ. Казань. 2000. С. 100.
 9. Ильин А.П., Сабирзянов А.Н., Максудов Р.Н., Аляев В.А., Гумеров Ф.М. Извлечение фенола из воды методом сверхкритической флюидной экстракции.// Тезисы научной сессии./ КГТУ. Казань. 2000. С. 100.

Соискатель



/ А. П. Ильин /

Заказ 224

Тираж 100.

Офсетная лаборатория Казанского государственного
технологического университета
420015, Казань, К.Маркса, 68